



Pion form factor from 2+1 dynamical flavor lattice QCD

著者	Oanh Nguyen Hoang
内容記述	Thesis (Ph. D. in Science)--University of Tsukuba, (A), no. 5266, 2010.3.25 Includes bibliographical references
発行年	2010
URL	http://hdl.handle.net/2241/105498

氏 名 (本籍)	グエン ホアン オアン (ベトナム)		
学 位 の 種 類	博 士 (理 学)		
学 位 記 番 号	博 甲 第 5266 号		
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審 査 研 究 科	数理解物質科学研究科		
学 位 論 文 題 目	Pion form factor from 2 + 1 dynamical flavor lattice QCD (2 + 1 動的フレーバーの格子量子色力学からのパイ中間子形状因子)		
主 査	筑波大学教授	理学博士	青 木 慎 也
副 査	筑波大学教授	理学博士	宇 川 彰
副 査	筑波大学教授	理学博士	石 橋 延 幸
副 査	筑波大学准教授	博士 (理学)	蔵 増 嘉 伸

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、 π 中間子の内部構造を知るために必要である π 中間子の形状因子を研究したものである。 π 中間子の形状因子は、 π 中間子と仮想的な光子との相互作用を測る量であり、 π 中間子が点状粒子の場合は仮想光子の 4 元運動量の大きさには依存しないが、 π 中間子が内部構造を持てば 4 元運動量の大きさに依存する。実際、 π 中間子は 2 つのクォークから出来ていると考えられているので内部構造を持ち、 π 中間子・電子散乱実験で測られた形状因子は運動量依存性を持ち、 π 中間子がクォークの束縛状態であることを示している。一方、強い相互作用を記述する量子色力学 (QCD) により理論的の π 中間子の形状因子を計算し実験結果と比較する事は、QCD の正しさ、及びその計算手法の精度、を確立する上で重要であるが、QCD の相互作用の強さによる非摂動的性質のために通常の摂動展開法が使えず、非摂動的な計算方法が必要となる。そのような計算方法の中で、モデル依存性が無く、第一原理に根ざした手法は、格子 QCD による数値計算である。このように π 中間子の形状因子の計算は格子 QCD の計算手法の応用範囲をひろげるため非常に良いテストとなっているために多くの先行研究があった。特に、形状因子は仮想光子の 4 元運動量がゼロの極限で 1 となることが分かっているため、その点での傾きは π 中間子の荷電半径と呼ばれ格子 QCD で多くの計算が行われている。しかしながら、次のような問題点が明らかになっている。(1) 通常の計算は計算時間の制約のために実験より重い π 中間子で計算が行われているが、得られた荷電半径は実験で測られたものよりかなり小さい。(2) また、荷電半径のクォーク質量依存性はカイラル摂動論によって急激な変化が予想されているが、格子 QCD の計算ではその変化が見えていない。(3) カイラル摂動論によるクォーク質量依存性を仮定して、格子 QCD の結果を物理的な π 中間子まで外挿しても実験値を再現しない。

そこで、本研究ではこれらの問題を解決するために、物理的な π 中間子の質量での計算を含めた π 中間子の形状因子の計算を行った。筑波大学の計算科学研究センターを中心とした PACS-CS 研究グループは物理的な π 中間子を含んだ格子 QCD のゲージ配位生成を行っており、そのゲージ配位を用いて、形状因子の計算が行われた。そして、本研究により、以下のような結果が得られた。(1) π 中間子の質量が実験値より重い場合は、荷電半径の値は実験値より小さく、先行研究の結果を再現した。(2) また、先行研究と同様に π 中間子を軽くすると、荷電半径は大きくなって行くが、カイラル摂動論に特有な急激な変化は見られず、単

純に外挿しても実験の荷電半径は再現しない。(3) 物理的な π 中間子の質量での計算は統計誤差が大きく実験との比較が難しいことが分かった。(4) そこで、格子空間の体積を8倍にした最新のゲージ配位を使い、形状因子を計算した。その結果、荷電半径は、中心値は実験値より大きく、大きな誤差の範囲では実験値と矛盾のない値を得た。

最後に述べた(4)の結果は、近い将来、物理的な π 中間子での格子QCDの計算で、 π 中間子の荷電半径の実験値を再現することが期待出来ることを示唆している。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、格子QCDの大目標の1つである物理的な π 中間子の質量での格子QCD計算を、 π 中間子の形状因子という困難な問題に適用し、その解決の糸口を示唆する結果を得たという点で高く評価できるものである。この研究は指導教員である宇川教授の指導のもとに行われたが、研究で使われた計算コードの作成、それを使った数値計算、得られた結果の解析とその解釈など、研究のほぼすべてを著者が独力で行ったものである。特に、研究の途中で、重い π 中間子でも統計誤差が思ったように減らない、物理的な π 中間子の質量での計算が統計誤差のためにうまく行かないなどの問題が出てきたが、その都度、いろいろ方策を検討し解決して来た事は評価できる。残念ながら、大きな体積で物理的なクォーク質量での計算結果は、計算に使う事が出来たゲージ配位の数が少なかったために統計誤差が大きくなってしまった。しかしながら、中心値は実験値と矛盾しない今までより大きな値を出していて、将来、統計誤差を減らす事で実験値を再現する事が可能になることを示唆しており、非常に重要な結果である。以上のことから、博士論文として充分価値のある研究成果であると評価できる。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。